doi:10.13866/j. azr. 2018.04.01

新疆天山一号冰川地区 10 种青藓科植物叶的微结构观察①

王剑虹[1]，　陈秋艳[2]，　王　虹[2]，　袁祯燕[2]，　吴玉环[3]

(1. 兰州职业技术学院,甘肃 兰州　730070; 2. 新疆大学生命科学与技术学院,新疆 乌鲁木齐　830046;
3. 杭州师范大学生命与环境科学学院,浙江 杭州　310036)

摘　要: 一直以来,青藓科植物的分类较为困难。本文采用光镜与扫描电镜,对新疆一号冰川 10 种青藓科植物叶的微结构进行了研究,观察得出 10 种青藓科植物叶尖渐尖或为长毛尖,叶尖顶端细胞透明,短或狭长;叶片细胞壁加厚;导水主细胞少。植株的叶干燥时,细胞壁排列方式不同,表面具不同形状的纹饰及附属物,大多数种类的表面有小窝点分布,但这些微结构在青藓属(*Brachythecium* B. S. G.)、毛尖藓属(*Cirriphyllum* Grout.)、长喙藓属(*Rhynchostegium* B. S. G.)植物叶中均有明显差异。同属、不同属之间,由于生长环境不同,植物体叶也会呈现出不同的形态特征。这表明 10 种植物的微结构特征是与环境密切相关。

关键词: 青藓科; 微结构; 电镜扫描; 天山一号冰川; 新疆

青藓科(Brachytheciaceae)植物属于苔藓植物门,藓纲,灰藓目,它是侧蒴藓类植物中最大的科之一[1-2]。据记载,目前全世界所记载的青藓科约有 43 属,570 余种,其中我国约有 12 属,120 种。青藓科植物种类繁多,其形态特征变化较大,叶先端长、渐尖(少数圆钝);中肋单一,大多止于叶先端之下,有时在背面先端具刺状凸起;叶细胞大多呈长形、菱形以至线状弯曲形。而青藓属(*Brachythecium*)叶先端急尖或渐尖,中肋细弱或强劲,大多长达叶中部以上;毛尖藓属(*Cirriphyllum*)叶直立或倾立,干燥时常覆瓦状排列,深内凹,常呈兜形,叶先端渐尖或急尖成长毛尖或钻状,中肋延伸到叶长度的 1/2、2/3 处;长喙藓属(*Rhynchostegium*)叶先端渐尖、长毛尖或具小尖头;叶缘全缘或具齿,中肋延伸至叶中部或超过叶中部,先端背部无刺状突[3-11]。1965 年,Nyholm 对芬兰、挪威、瑞典、丹麦等地区的青藓科植物进行了区系研究[12];李敏等对原分布于中国的 5 种燕尾藓属植物进行了分类学修订[13],何红燕等对 8 种青藓科植物的蒴齿及孢子进行了超微形态的研究[14];于晶等利用青藓科植物的孢子形态特征进行分类学的研究[15];随着分子生物学的发展,越来越多的学者将分子生物学技术运用到青藓科植物的分类研究中,如 Goffinet 等用编码叶绿体蛋白的基因 rps4 对 225 个种进行了系统进化方面的研究工作[16];Vanderpoorten 等对 Donrichardsia 也进行了系统的研究[17];刘丽等基于 ITS2, trnL－F 等分子数据探讨了中国青藓科各属、种之间的亲缘关系[18]。魏倩倩等对柳叶藓科、青藓科和灰藓科植物进行区系研究,发现中国新疆与内蒙古地区的这几种藓类植物的关系最为接近[19]。

对新疆天山一号冰川地区的藓类植物结构学的研究有过一些报道[20-27],而对该地区的青藓科植物的研究还未见报道。因此,本文根据青藓科植物的叶尖顶端细胞、叶片细胞的形态结构特征进行解剖学研究,探讨青藓属、毛尖藓属、长喙藓属之间及属下种间叶片结构的差异,以期为青藓科分类提供依据,同时,也将从生态学方面探讨 10 种青藓科植物如何应对这种干旱、寒冷、太阳辐射强的环境,为今后全面进行青藓科植物生物学研究提供资料。

1　实验材料与方法

本实验中 10 种青藓科植物标本均采自于新疆

① 收稿日期: 2017－0－;　修订日期: 2017－0－
基金项目: 国家自然基金项目(41461010,41571049)
作者简介: 王剑虹(1973－),女,教授,硕士,主要从事资源植物开发利用. E-mail: 601910330@ qq. com
通讯作者: 王虹. E-mail: wanghong211@163. com

天山一号冰川附近,海拔为 2 283 ~3 670 m,凭证标本存放在新疆大学植物标本馆(XJU)及杭州师范大学植物标本馆(HTC)(表 1)。将干燥标本用清水浸泡 30 min,使用 PolaronCA7615 型超声波清洗仪清洗 30 min。每种植物不少于 15 个植株,取中部叶片至少各 5 个置于载玻片上,在 Olympus 显微镜下详细观察。随后在 Nikon 光学显微镜下照相,测量叶尖顶端细胞、叶表皮细胞、叶中肋的长与宽。再将其中的一部分材料放入 FAA 固定液中固定,经脱水、透蜡、包埋、切片、染色后封片,在显微镜下观察并照相。每个种至少选取 10 个横切面,测量茎细胞壁厚度、皮部面积、中轴面积。取相同部位的叶片不少于 6 片脱水处理,置于样品台上,用喷镀仪镀金,最后用德国产 LEO1430VP 型扫描电镜分别观察和照相。

2 观察结果

2.1 尖叶青藓 *Brachythecium coreanum* Card.

叶尖渐尖,边缘具细齿状凸起;顶端细胞狭长透明,与其之下的细胞形状、大小基本相同;叶尖干燥时顶端细胞壁表面较粗糙,大量细纵纹分布至最顶端,表面具少量细小颗粒。叶片细胞 1 层,整齐排列,大量的内含物聚集成团状;细胞壁厚;中肋细胞 3 ~4 层,导水主细胞较大,细胞腔大;叶片干燥时,细胞壁呈长条状排列,表面呈不同程度的凹陷;背面细胞壁表面具短纵纹和鳞片状纹饰,有少量细小颗粒;腹面凹起的细胞壁表面具较多不规则短纵纹(图版Ⅰ:1,11;图版Ⅱ:1,11 ~12)。

2.2 多枝青藓 *Brachythecium fasciculirameum* C. Muell.

叶尖渐尖成长毛尖,叶尖的边缘细胞全缘;顶端细胞狭长透明;叶尖干燥时顶端细胞表面较粗糙,大量细纵纹均匀分布,具少量细小颗粒。叶片细胞 1 层,排列不整齐;中肋为 3 ~4 层,横切面近不规则多边形,细胞腔大,内含物少;叶片干燥时,细胞壁略向内凹陷;背面细胞壁表面具大量纵纹、鳞片状纹饰及石头状附属物,有小窝点,表面具不规则纹饰及蜡质;腹面细胞壁表面具大量细纵纹、波浪状纹饰密集分布,有颗粒状及棒状附属物,凸起的细胞壁呈细长条状不规则排列(图版Ⅰ:2,12;图版Ⅱ:2,13 ~14)。

2.3 圆枝青藓 *Brachythecium garovaglioides* C. Muell.

叶尖渐尖成长毛尖,边缘具细齿状凸起;顶端细胞狭长不透明;叶尖干燥时顶端细胞的细胞壁向内凹陷,表面较光滑,具少量不规则纹饰及细小颗粒。叶片细胞 1 层,整齐排列,内含物少;细胞壁明显很厚,且略向外凸,细胞腔小;中肋细胞 3 ~4 层,横切

表 1 实验材料及来源

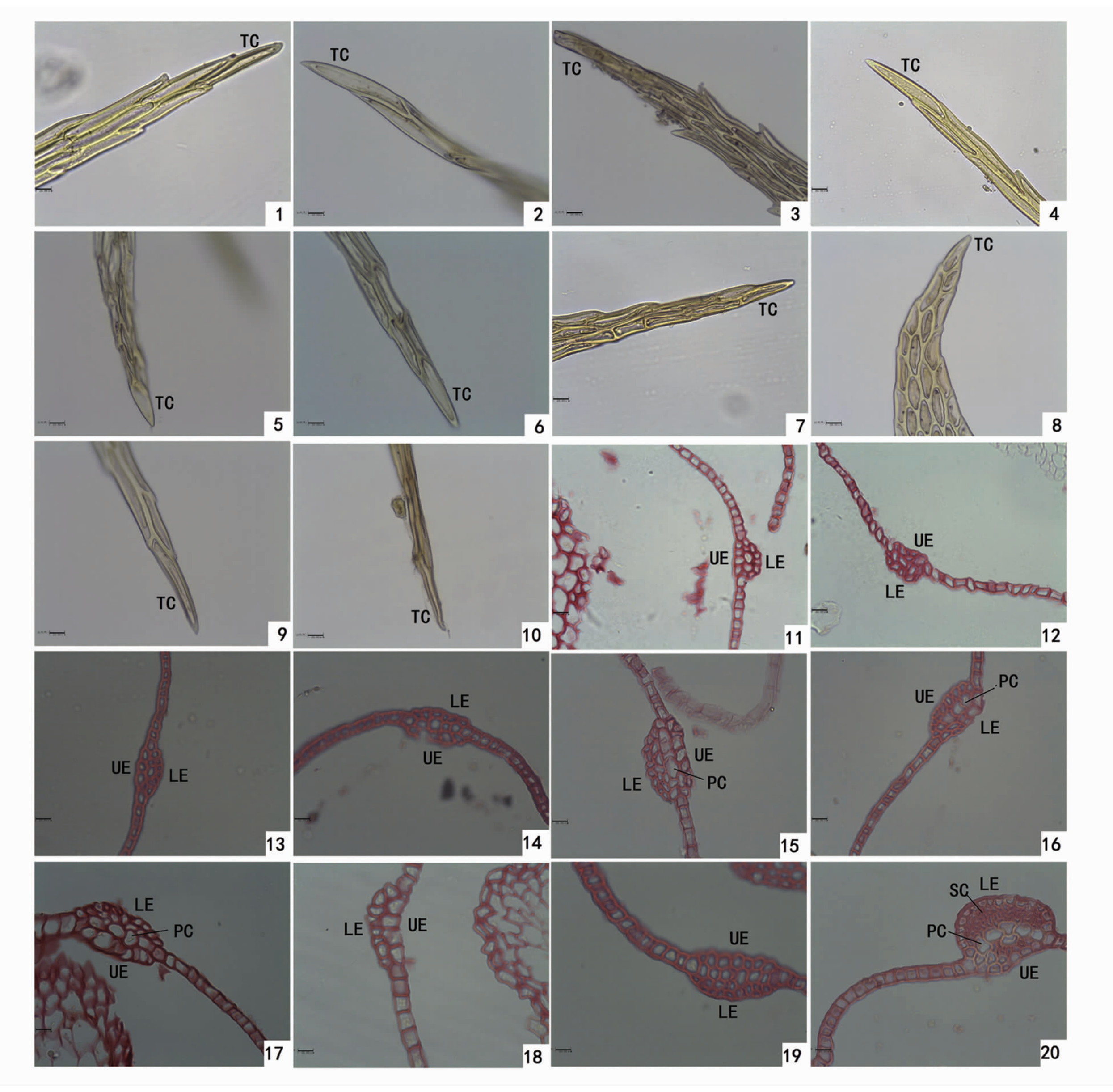
Tab. 1 Material and Original

序号	属名	种名	经纬度	生境	海拔/m	凭证标本
1	青藓属 *Brachythecium* B. S. G.	尖叶青藓 *Brachythecium coreanum* Card.	43°06′41.05″N 86°49′27.02″E	腐木生	2 283	吴玉环(WYH. HTC. 20140808 -13 -2)
2		多枝青藓 *Brachythecium fasciculirameum* C. Muell.	43°08′43.56″N 87°50′48.37″E	腐木生	3 140	吴玉环(WYH. HTC. 2014080810)
3		圆枝青藓 *Brachythecium garovaglioides* C. Muell.	43°12′09.64″N 87°06′56.44″E	阴湿的岩面土生	3 570	王虹(WH. XJU20150812009 -1)
4		石地青藓 *Brachythecium glareosum* (Spruc.) B. S. G.	43°06′66.00″N 86°50′05.82″E	沼泽水生	3 586	王虹(WH. XJU20160823002)
5		羽枝青藓 *Brachythecium plumosum* (Hedw.) B. S. G.	43°12′51.72″N 87°07′51.89″E	砾石山石面	3 670	王虹(WH. XJU. 2014072314)
6		长肋青藓 *Brachythecium populeum* (Hedw.) B. S. G.	43°12′51.25″N 87°07′56.50″E	沟谷中土生	2 292	吴玉环(WYH. HTC. 2014081321)
7		青藓 *Brachythecium pulchellum* Broth. et Par.	43°06′39.47″N 86°50′08.03″E	石头下土生	3 140	吴玉环(WYH. HTC. 2014081012)
8		卵叶青藓 *Brachythecium rutabulum* (Hedw.) B. S. G.	43°13′05.19″N 87°07′40.26″E	沟谷石壁生	2 303	吴玉环(WYH. HTC2014081303)
9	毛尖藓属 *Cirriphyllum* Grout.	匙叶毛尖藓 *Cirriphyllum cirrosum* (Schwaegr.) Grout.	43°06′57.67″N 86°50′06.27″E	沼泽水生	3 554	王虹(WH. XJU20160821 -1)
10	长喙藓属 *Rhynchostegium* B. S. G.	斜枝长喙藓 *Rhynchostegium inclinatum* (Mitt.) Jaeg.	43°12′51.70″N 87°07′51.89″E	沟谷中土生	2 323	吴玉环(WYH. HTC. 2014081306)

表 2　10 种青藓科植物叶片测量数据

Tab. 2　10 species of Brachytheciaceae plants Leaf measurement data

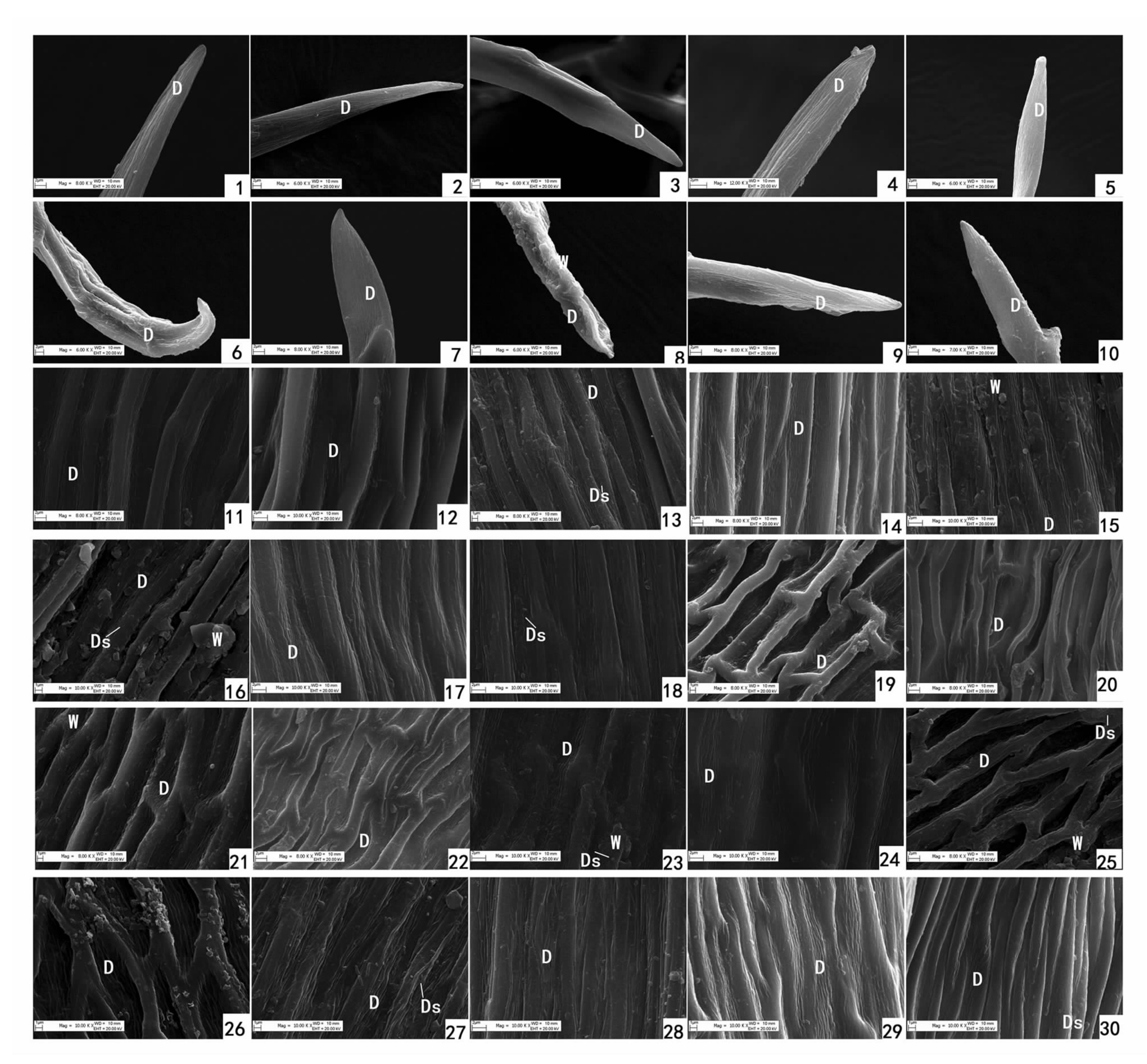
序号	叶尖顶端细胞的长/宽/μm)	叶尖顶端细胞长宽比	叶片长/宽/μm	叶片长宽比	叶片中肋长/宽/μm	叶片中肋长宽比
1	101.28 ~ 118.90/5.01 ~ 14.68	8.09 ~ 20.27	11.10 ~ .65/9.31 ~ 13.75	1.19 ~ 1.43	46.07 ~ 59.04/32.13 ~ 41.52	1.42 ~ 1.43
2	113.51 ~ 130.56/8.77 ~ 16.86	7.74 ~ 12.94	11.68 ~ 18.11/9.80 ~ 14.43	1.19 ~ 1.26	53.75 ~ 63.82/34.32 ~ 44.84	1.42 ~ 1.57
3	46.66 ~ 62.90/14.55 ~ 22.74	2.77 ~ 3.21	10.93 ~ 17.80/9.83 ~ 12.12	1.11 ~ 1.47	53.96 ~ 64.17/26.33 ~ 35.32	1.82 ~ 2.05
4	110.44 ~ 122.84/9.66 ~ 19.57	6.28 ~ 11.43	14.22 ~ 18.60/12.80 ~ 16.61	1.11 ~ 1.12	77.80 ~ 82.93/42.34 ~ 46.75	1.77 ~ 1.84
5	46.65 ~ 58.93/11.28 ~ 18.77	3.14 ~ 4.14	14.55 ~ 25.27/12.93 ~ 15.47	1.13 ~ 1.63	100.75 ~ 108.33/52.44 ~ 57.23	1.89 ~ 1.92
6	86.95 ~ 99.63/7.74 ~ 14.88	6.70 ~ 11.23	15.23 ~ 22.15/13.93 ~ 20.76	1.07 ~ 1.09	78.23 ~ 90.04/42.02 ~ 52.74	1.71 ~ 1.86
7	53.87 ~ 72.49/8.22 ~ 14.98	4.84 ~ 6.55	16.04 ~ 20.65/14.99 ~ 19.68	1.05 ~ 1.07	107.65 ~ 116.81/51.54 ~ 59.43	1.97 ~ 2.09
8	46.03 ~ 54.45/11.02 ~ 19.30	4.18 ~ 4.84	23.00 ~ 27.32/19.10 ~ 23.28	1.17 ~ 1.20	109.35 ~ 116.61/35.07 ~ 43.28	2.70 ~ 3.12
9	45.49 ~ 67.49/13.85 ~ 15.27	3.28 ~ 4.42	20.99 ~ 28.05/17.93 ~ 23.58	1.19 ~ 1.77	107.10 ~ 117.75/51.63 ~ 58.29	2.02 ~ 2.07
10	85.58 ~ 109.95/10.77 ~ 14.38	7.65 ~ 7.95	17.60 ~ 24.33/16.81 ~ 21.15	1.05 ~ 1.15	119.86 ~ 130.06/77.64 ~ 89.60	1.45 ~ 1.54



注:TC:顶端细胞; LE:下表皮; UE:上表皮; PC:导水主细胞; SC:小型厚壁细胞; 1 ~ 10,叶尖形态;11 ~ 20,叶片形态;1、11,尖叶青藓;2、12,多枝青藓;3、13,圆枝青藓;4、14,石地青藓;5、15,羽枝青藓;6,6,长肋青藓;7、17,青藓;8,18,卵叶青藓;9,19,匙叶毛尖藓;10,20,斜枝长喙藓

图版Ⅰ　光学显微镜下 10 种青藓科植物叶微形态(放大倍数均为 ×400;比例尺 = 20 μm)

Plate Ⅰ　1 ~ 15. Light microscope photographs of leaf micromorphology of 10 species of Brachytheciaceae. (×400;Bar = 20μm)



注:D:纹饰; W:蜡质; Ds:窝点; 1-10:叶尖;11~30:叶片背、腹面. 1、11~12. 尖叶青藓. ×8000, ×8000, ×10000;2、13~14,多枝青藓. ×6000, ×8000, ×8000;3、15~16,圆枝青藓. ×6000, ×10000, ×10000;4,17~18,石地青藓. ×12000, ×10000, ×10000;5,19~20,羽枝青藓. ×6000, ×8000,21~22,长肋青藓. ×8000, ×8000;23~24,青藓. ×10000, ×10000;25~26,卵叶青藓. ×8000, ×10000;27~28,匙叶毛尖藓. ×10000, ×10000;29~30,斜枝长喙藓. ×10000, ×10000.

图版Ⅱ 扫描电镜下10种青藓科植物叶微形态

Plate Ⅱ SEM photographs of leaf micromorphology of 10 species of Brachytheciaceae .

面近长卵形,细胞壁厚;叶片干燥时,背面凸起的细胞壁呈不规则排列,表面具大量细长纵纹、石块状附属物、蜡质;腹面细胞壁表面具大量蜡质浓密覆盖,有大量多边形不规则鳞片、少量小窝点分布(图版Ⅰ:3,13;图版Ⅱ:3,15~16)。

2.4 石地青藓 *Brachythecium glareosum* (Spruc.) B. S. G.

叶尖突然收缩成长毛尖,边缘具细齿状凸起;顶端细胞狭长透明;叶尖干燥时顶端细胞壁表面较粗糙,大量细纵纹均匀分布且达最顶端,具不规则纹饰,细小颗粒。叶片细胞1层,整齐排列,具大量内含物;细胞壁厚;中肋细胞3~4层,横切面近长卵形,细胞壁厚,细胞腔小,内含物较少;细胞壁略凹陷,背面凸起的细胞壁呈粗条状不规则排列,具纵纹、节状、不规则纹饰;腹面细胞壁表面具粗纵纹紧凑分布,有少数小窝点分布(图版Ⅰ:4,14; 图版Ⅱ:4,17~18)。

2.5 羽枝青藓 *Brachythecium plumosum* (Hedw.) B. S. G.

叶尖渐尖,边缘具细齿状凸起;顶端细胞短而透

明;叶尖干燥时顶端细胞壁表面较粗糙,大量细纵纹均匀分布且达最顶端,具少量细小颗粒。叶片细胞 1 层,整齐排列,内含物多,细胞壁厚;中肋细胞 4 ~5 层,导水主细胞大,横切面近阔卵形,细胞壁厚,内含物多,背细胞壁微凸;叶片干燥时,细胞壁表面呈不同程度的凹陷,背面细胞壁表面具波浪状纹饰及颗粒物,凸起的细胞壁呈竹节状规则排列,表面具鳞片状纹饰及细小颗粒;腹面细胞壁表面具细长纵纹及颗粒物,凸起的细胞壁排列不规则(图版Ⅰ:5,15;图版Ⅱ:5,19 ~20)。

2. 6　长肋青藓 *Brachythecium populeum* (Hedw.) B. S. G.

叶尖渐尖,边缘微凸起;顶端细胞狭长透明;叶尖干燥时顶端细胞的细胞壁向内凹陷,表面很粗糙,大量纵纹均匀分布且达最顶端,具大量细小颗粒、蜡质分布。叶片细胞 1 层,内含物多;细胞壁厚且略向内凹陷;中肋细胞 4 ~5 层,导水主细胞大,横切面近长卵形,细胞腔大,内含物少;叶片干燥时,细胞壁表面向内凹陷;背腹面凸起的细胞壁呈网状规则排列,表面具细小纵纹、鳞片状纹饰及颗粒物,有较少的蜡质及少数小窝点分布(图版Ⅰ:6,16;图版Ⅱ:6,21 ~22)。

2. 7　青藓 *Brachythecium pulchellum* Broth. et Par.

叶尖渐尖,边缘微凸起;顶端细胞短而透明;叶尖干燥时顶端细胞壁表面较粗糙,大量细纵纹均匀分布且达最顶端,具少量细小颗粒。叶片细胞 1 层,整齐排列,细胞壁厚,内含物多;中肋细胞 4 ~5 层,导水主细胞大,横切面近阔卵形,细胞壁厚,细胞腔大,内含物稍多;叶片干燥时,背面凸起的细胞壁呈条状不规则排列,表面具大量鳞片状纹饰、块状物、蜡质、小窝点,凹陷的细胞壁表面具细长纵纹、褶皱及颗粒物;腹面凸起的细胞壁表面呈粗条状不规则排列,表面相对光滑(图版Ⅰ:7,17; 图版Ⅱ:7,23 ~24)。

2. 8　卵叶青藓 *Brachythecium rutabulum* (Hedw.) B. S. G.

叶尖渐尖成短尖且狭小,边缘具微细齿状凸起;顶端细胞短小而透明,与其细胞之下的细胞形状、大小基本相同;叶尖干燥时顶端细胞壁表面很粗糙,大型颗粒状物互相重叠紧簇,具大量泡状蜡质分布。叶片细胞 1 层,细胞壁明显加厚,内含物多;中肋细胞 2 ~3 层,横切面近狭长卵形,细胞壁厚,细胞腔大,内含物多;叶片干燥时,背面凸起的细胞壁呈菱形规则排列,具鳞片状纹饰及蜡质、少量小窝点;腹面凸起的细胞壁表面粗糙,具鳞片状纹饰堆积,凹陷的细胞壁表面具波浪状纹饰及块状物(图版Ⅰ:8,18;图版Ⅱ:8,25 ~26)。

2. 9　匙叶毛尖藓 *Cirriphyllum cirrosum* (Schwaegr.) Grout.

叶尖突然狭缩成一细长毛尖,边缘具粗齿状凸起;顶端细胞狭长透明,与其细胞之下的细胞形状、大小基本相同;叶尖干燥时顶端细胞壁表面较粗糙,具较多的细小颗粒。叶片细胞 1 层,内含物多;中肋细胞 4 ~5 层,横切面近长卵形,细胞壁厚,细胞大小、形状不同,细胞腔大,内含物多;叶片干燥时,背面凸起的细胞壁呈粗长条状规则排列,表面具粗长纵纹、块状物、少量小窝点,凹陷的细胞壁表面具不规则纹饰、棒状物及蜡质;腹面凸起的细胞壁表面呈粗长条状规则分布,凹陷的细胞壁表面具鳞片状、块状、颗粒状纹饰,有少量小窝点分布(图版Ⅰ:9,19;图版Ⅱ:9,27 ~28)。

2. 10　斜枝长喙藓 *Rhynchostegium inclinatum* (Mitt.) Jaeg.

叶尖渐尖,边缘具细齿状凸起;顶端细胞狭长透明;叶尖干燥时顶端细胞壁表面较粗糙,具大量不规则纹饰。叶片细胞 1 层,整齐排列,内含物多;中肋细胞 8 ~10 层,导水主细胞大,横切面近圆形,主细胞背面具 3 ~4 层小型厚壁细胞,腹面具 1 ~2 层小型厚壁细胞;叶片干燥时,背面凸起的细胞壁呈粗条状不规则排列,表面具短纵纹和鳞片状纹饰,凹陷的细胞壁表面具波浪状纹饰及颗粒物;腹面凸起的细胞壁呈长条状规则排列,表面具细短纵纹,凹陷的细胞壁表面具不规则纹饰、块状物、蜡质((图版Ⅰ:10,20;图版Ⅱ:10,29 ~30)。

3　讨论与分析

3. 1　微结构态特征与环境的关系

多枝青藓、圆枝青藓、石地青藓、匙叶毛尖藓等具有长毛尖,叶尖的顶端细胞绝大多数透明,能够反射太阳光,减少水分损失,也能减少强辐射对植物组织的伤害[22 - 29];叶尖干燥时,在扫描电镜下:叶尖的顶端细胞壁向内不同程度的凹陷,长肋青藓、青藓、卵叶青藓的细胞壁明显向内凹陷,从表 1 也可知,这

3 种青藓生境为土生和石壁生，属于较为干旱的种类，反映出其对环境的适应性。

10 种青藓科植物叶片的细胞壁均较厚，而圆枝青藓是强烈加厚的，它生长在较阴湿的岩石上，细胞壁增厚可以起到很好的支撑、耐寒和保水的作用[28]。除圆枝青藓、斜枝青藓外，其他青藓叶片细胞内均含有内含物，聚集成团状，这可能也是植物的生存策略[29]。植物叶片中肋中的导水主细胞及细胞的多少可以判断植物的输水和抗旱能力，斜枝长喙藓叶片中肋层数多，具多层小型厚壁细胞，说明其支撑和导水能力较强，抵御多风和干旱环境[28]。叶干燥时，长肋青藓、卵叶青藓顶端细胞、叶片细胞壁表面具大量 = 鳞片状（或泡状）蜡质、小窝点，可以帮助植物体快速吸收和储存水分，反射强光、抵御寒冷以及减小失水的速度[22-28]，说明叶片微结构特征是与环境紧密相连的。同属、不同属之间，由于生长环境不同，植物体叶呈现出不同的形态特征（如羽枝青藓和长肋青藓、圆枝青藓和青藓）。生境较为湿润的匙叶毛尖藓和斜枝长喙藓的叶片较为发达，而斜枝长喙藓的叶片中肋层数更多，是因为生长在沟谷中可以减少风沙、太阳辐射等对植物水分的蒸发[20-27]；而匙叶毛尖藓虽然生长在水中，但其生长在水面上的叶长期暴露在强光、多风、寒冷的环境下，其叶片细胞小而细胞壁强烈加厚，可增强支撑作用和耐寒能力。杨武[28]等所采的羽枝青藓来源于浙江金华北山温湿地区湿润的岩面，其叶片中肋细胞小，无导水主细胞，而本文中的羽枝青藓采自于寒冷地区，海拔为 3 670 m，叶片细胞较大，中肋较发达，有导水主细胞的分化，细胞腔大，可以帮助植物储存更多的水分。

3.2 分类学意义

10 种青藓科植物叶尖渐尖或成毛尖状。先端渐尖的有 6 种：尖叶青藓、羽枝青藓、长肋青藓、青藓、卵叶青藓、斜枝长喙藓；先端渐尖成毛尖状的有 4 种：多枝青藓、圆枝青藓、石地青藓、匙叶毛尖藓。除多枝青藓外，其余的叶尖边缘细胞均向外凸起。叶尖顶端细胞小或狭长，细胞小的有 3 种：羽枝青藓、青藓、卵叶青藓；细胞狭长的有 7 种：尖叶青藓、多枝青藓、圆枝青藓、石地青藓、长肋青藓、匙叶毛尖藓、斜枝长喙藓。可以看出青藓科植物叶尖及细胞形态对种间的分类意义不大，但其微结构，如细胞表面纹饰、细胞壁厚度等具有潜在的分类学价值[21,23]。

由表 2 中的数据看出：10 种青藓科植物的叶片相对于在较温湿地区生长的要小很多，这或许是因为植物长期生活在一号冰川这样干旱又很寒冷的环境。羽枝青藓、长肋青藓的变化范围相对较小，说明其种间的差异较小。结合光镜与电镜扫描发现，不同属之间、同属之间植物叶的微结构特征均不同，主要表现在：叶尖、顶端细胞形态、细胞壁加厚程度、细胞壁凹陷程度及表面纹饰的形状、数量、大小，叶片中肋层数，导水主细胞大小等等。一直以来，青藓科在属间及种间的分类在一般光学显微镜下比较困难[18]，而在扫描电镜下，观察叶片形态大小、干燥时细胞壁凹陷程度、表面纹饰分布等就比较清晰，可以较容易进行种间的分类[20-26]。除多枝青藓外，其余青藓植物叶片细胞排列整齐、具成团分布的内含物。尖叶青藓、多枝青藓等 7 种植物叶片细胞向外凸。10 种叶中肋细胞层数区别明显。叶尖干燥时，长肋青藓、卵叶青藓明显与其他种不同，表面具大量纹饰分布，有泡状的蜡质。叶片表面细胞壁排列方式不同，可分为，呈条状排列：尖叶青藓等 7 种；呈竹节状排列：羽枝青藓；呈网状排列：长肋青藓；呈菱形排列：卵叶青藓。各物种叶片表面纹饰形状、数量均不相同，附属物形状、大小、数量也各不相同，匙叶毛尖藓表面的附属物形状多样且数量多。除尖叶青藓、羽枝青藓、青藓、斜枝长喙藓外，其余种叶片表面均具小窝点。因此，可看出这些微结构特征均具有一定的分类价值[26]。本文通过叶片横切面的解剖发现不同属之间存在着差异，这与杨武等[28]所得出的结果一致，说明可通过叶片横切面将同科不同属的藓类区分开来。藓类的分类是要结合环境进行分析鉴别的，本研究可为以后的研究工作提供一些理论依据。

参考文献（References）：

〔1〕 陈邦杰. 中国藓类植物属志（下册）〔M〕. 北京：科学出版社，1963.〔Chen Bangjie. Bryophyte Flora of China（II）〔M〕. Beijing：Science Press，1963.〕

〔2〕 魏倩倩，李敏，李晓芹，等. 中国青藓科新资料〔J〕. 西北植物学报，2013，33（7）：1481 – 1486.〔Wei Qianqian，Li Min，Li Xiaoqin，et al. Notes on brachytheciaceae（Bryophyta） of China，Acta Botanica Boreali – Occidentalia Sinica，2013，33（7）：1 481 – 1 486.〕

〔3〕 Crosby M R，Magill R E，Allen B，et al. A checklist of the mosses〔M〕. St. Louis：Missouri Botanical Garden，2000.

〔4〕 王幼芳,胡人亮. 中国青藓科研究资料(Ⅰ)〔J〕. 植物分类学报,1998,36(3):255 – 267.〔Wang Youfang,Hu Renliang. Notes on Chinese brachytheciaceae(Ⅰ)〔J〕. Journal of Systematics and Evolution,1998,36(3):255 – 267.〕

〔5〕 王幼芳,朱俊,胡人亮. 中国青藓科研究资(Ⅱ)〔J〕. 植物分类学报,2000,38(5):472 – 485.〔Wang Youfang,Zhu Jun,Hu Renliang. Notes on Chinese brachytheciaceae(Ⅱ)〔J〕. Journal of Systematics and Evolution,2000,38(5):472 – 485.〕

〔6〕 黎兴江,减穆,曾淑英. 西藏苔藓植物志〔M〕. 北京:科学出版社,1985,403 – 420.〔Li Xingjiang,Jian Mu,Zeng Shuying. Bryoflora of Xizang〔M〕. Beijing:Science Press,1985,403 – 420.〕

〔7〕 白学良. 内蒙古苔藓植物志〔M〕. 呼和浩特:内蒙古大学出版社,1997,464 – 490.〔Bai Xueliang. Bryoflora of Inner Mongolia〔M〕. Hohhot:Inner Mongolia University Press,1997,464 – 490.〕

〔8〕 熊源新. 贵州苔藓植物志〔M〕. 贵阳:贵州科技出版社,2014,353 – 425.〔Xiong Yuanxin. Bryophyte Flora of Guizhou Province,China〔M〕. Guiyang:Guizhou Science and Technology Press,2014,353 – 425.〕

〔9〕 吴鹏程,贾渝. 中国苔藓志(第八卷)〔M〕. 北京:科学出版社,2004,126 – 174.〔Wu Pengcheng,Jia Yu. Bryophyte of China(Vol. 8)〔M〕. Beijing:Science Press,2004,126 – 174.〕

〔10〕 胡人亮,王幼芳. 中国苔藓志(第七卷)〔M〕. 北京:科学出版社,2005,82 – 179.〔Hu Renliang,Wang Youfang. Bryophyte of China(Vol. 8)〔M〕. Beijing:Science Press,2005,82 – 179.〕

〔11〕 白学良. 贺兰山苔藓植物〔M〕. 银川:宁夏人民出版社,2010,229 – 237.〔Bai Xueliang. Bryophyte of Helan Mountain〔M〕. Yinchuan:Ningxia people's Press,2010,229 – 237.〕

〔12〕 Arnell S V,Nyholm E. Illustrated Moss Flora of Fennoscandia〔M〕. Gleerup,1956.

〔13〕 李敏,魏倩倩,王晓蕊,等. 中国青藓科植物分类学修订(Ⅱ):燕尾藓属〔J〕. 西北植物学报,2016,36(6):1 257 – 1 265.〔Li Min,Wei Qinaqian,Wang Xxiaorui,et al. A Revision of Chinese Brachytheciaceae(Bryophyta)(Ⅱ):Bryhnia Kaurin〔J〕. Acta Botanica Boreali – Occidentalia Sinica,2016,36(6):1 257 – 1 265.〕

〔14〕 何红燕,熊源新,石磊,等. 八种青藓科植物蒴齿及孢子的超微形态研究〔J〕. 广西植物,2011,31(2):188 – 193.〔He Hongyan,Xiong Yuanxin,Shi Lei,et al. Morphological studies on the spores and peristomal teeth of eight moss species in Brachytheciaceae〔J〕. Guihaia,2011,31(2):188 – 193.

〔15〕 于晶,王幼芳,王全喜,等. 中国青藓科(Brachytheciaceae)植物孢子形态的研究〔J〕. 贵州科学,2001,19(4):85 – 92.〔Yu Jing,Wang Youfang,Wang Quanxi,et al. Study on spore morphology of Brachytheciaceae(Musci) in China〔J〕. Guizhou Science,2001,19(4):85 – 92.〕

〔16〕 Goffinet B,Cox C J,Shaw A J,et al. The Bryophyta(mosses):Systematic and evolutionary inferences from an rps4 gene(cpDNA) phylogeny〔J〕. Annals of botany,2001,87(2):191 – 208.

〔17〕 Vanderpoorten A,Heden? s L,Cox C J,et al. Circumscription,classification,and taxonomy of Amblystegiaceae(Bryopsida) inferred from nuclear and chloroplast DNA sequence data and morphology〔J〕. Taxon,2002:115 – 122.

〔18〕 刘丽. 中国青藓科(Brachytheciaceae)植物分子系统学研究〔D〕. 上海:华东师范大学. 2007.〔Liu Li. Study on Plant Molecular Systematics of Brachytheciaceae in China〔D〕. Shanghai:East China Normal University,2007.〕

〔19〕 魏倩倩,买买提明·苏来曼,李敏,等. 中国新疆柳叶藓科、青藓科和灰藓科植物区系研究〔J〕. 西北植物学报,2014,34(2):379 – 386.〔Wei Qianqian,Mamatimin Sulaiman,LI Min,et al. Study on the moss flora of Amblystegiaceae,Brachytheciaceae and Hypnaceae of Xinjiang Uygur Autonomous Region,China〔J〕. Acta Botanica Boreali – Occidentalia Sinica,2014,34(2):379 – 386.〕

〔20〕 王虹,姜彦成,苏俊. 一号冰川地区四种藓类植物的解剖学研究〔J〕. 植物研究,2008,28(1):25 – 29.〔Wang Hong,Jiang Yancheng,Su Jun. Anatomy studies of four mosses in glacier No. 1 of Xinjiang〔J〕. Bulletin of Botanical Research,2008,28(1):25 – 29.〕

〔21〕 王虹,逯永满,王剑虹,等. 新疆 5 种丛藓科植物的解剖学研究〔J〕. 植物科学学报,2014,32(1):8 – 13.〔 Wang Hong,Lu Yongman,Wang Jianhong,et al. Anatomy studies of five species of pottiaceae from Xinjiang〔J〕. Plant Science Journal,2014,32(1):8 – 13.〕

〔22〕 曾健,吴玉环,王 虹,等. 新疆天山一号冰川地区十种藓类植物叶尖的微形态观察〔J〕. 植物研究,2015,35(5):672 – 678.〔Zeng Jian,Wu Yuhuan,Wang Hong,et al. Micromorphological structure of leaf apex of ten species of Bryophytes from No. 1 Glacier Tianshan Mountains〔J〕. Bulletin of Botanical Research,2015,35(5):672 – 678.〕

〔23〕 王虹,艾菲热·阿布都艾尼. 乌鲁木齐河源区 12 种藓类植物叶尖的微形态结构〔J〕. 西北植物学报,2016,36(2):323 – 331.〔Wang Hong,Aifeire Abuduaini. Micromorphological structure of leaf apex of twelve species of Bryophytes from the source area of Urumqi River〔J〕. Acta Botanica Boreali – Occidentalia Sinica,36(2):323 – 331.〕

〔24〕 艾菲热·阿布都艾尼,王虹. 乌鲁木齐河源区 10 种真藓属植物茎的解剖学分析〔J〕. 干旱区研究,2016,33(5):1 081 – 1 087.〔Aifeire Abuduaini,Wang Hong. Anatomic features of the stems of 10 species in Bryum from the headwaters of the Urumqi River〔J〕. Arid Zone Research,2016,33(5):1 081 – 1 087.〕

〔25〕 陈秋艳,王虹. 新疆天山一号冰川 10 种真藓属植物叶片结构的研究〔J〕. 植物研究,2016, 36(6):818 – 826.〔Chen Qiuyan,Wang Hong. Leaf structure of ten species of Bryum Dill from No. 1 Glacier of Tianshan Mountains〔J〕. Bulletin of Botanical Research,2016,36(6):818 – 826.〕

〔26〕 王虹,路雄,陈秋艳. 新疆天山一号冰川地区 12 种藓类植物叶形态结构研究〔J〕. 植物科学学报. 2017,35(1):21 – 29.〔Wang Hong,Lu Xiong,Chen Qiuyan. Leaf micromorphological structure of twelve moss species from the No. 1 Glacier of the Tianshan Mountains〔J〕. Plant Science Journal,2017,35(1):21 – 29.〕

〔27〕 王虹,艾菲热? 阿布都艾尼,阿腾古丽. 高寒冰缘区 15 种藓类植物茎的形态结构研究〔J〕. 西北植物学报,2017,37(10):1

962 – 1 971.〔Wang Hong, Aifeire Abuduaini, Atengguli. Morphological studies on stem of fifteen species of bryophytes from alpine periglacial region〔J〕. Acta Botanica Boreali – Occidentalia Sinica, 2017, 37(10): 1 962 – 1 971.〕

〔28〕杨武,郭水良,方芳. 不同生境下十七种藓类植物叶的比较解剖学〔J〕. 植物分类与资源学报, 2007, 29(4): 409 – 417.〔Yang Wu, Guo Shuiliang, Fang Fang. Comparison of leaf structures among seventeen moss species collected from different habitats〔J〕. Plant Diversity and Resources, 2007, 29(4): 409 – 417.〕

〔29〕王虹,阿布都拉・阿巴斯,范兆田,等. 四种旱生藓类植物的比较结构学观察〔J〕. 云南植物研究, 2000, 22(1): 38 – 40, 119 – 120.〔Wang Hong, Abudula Abas, Fan Zhaotian, et al. A comparison of structures among four Xerophic Mosses〔J〕. Acta Botanica Yunnanica, 2000, 22(1): 38 – 40, 119 – 120.〕

Microstructural observation of leaves of 10 species of Brachytheciaceae from No. 1 Glacier of Tianshan mountains

WANG Jian – Hong1 , CHEN Qiu – yan2, WANG Hong2 * , YUAN Zhen – yan2, WU Yu – huan3

(1 *Lanzhou Vocational Technical College*, 730070 *Lanzhou*, *China*; 2 *College of Life Science and Technology*, *Xinjiang University*, *Urumqi* 30046, *Xinjiang*, *China*;

3 *College of Life and Enviromental Science*, *Hangzhou Normal University*, 310036, *HangZhou*, *China*)

Abstract: It has always been more difficult to classify the Brachytheciaceae, Microstructure of the leaf of 10 species of Brachytheciaceae from No. 1 glacier of Tianshan Mountains was studied by Light microscope and SEM. The results indicate that the tips of these ten species are acuminate or long – hair – shaped. Apex cells of leaf tip are transparent, short or narrow. Cell wall of leaf is thicken with few main guide water cells. While leaves are dry, cell wall arrangement in different ways, there are different shapes of grain and appendages on the surface, and with tiny some holes in most specie. The microstructures are different among Brachythecium B. S. G. . , Cirriphyllum Grout. , Rhynchostegium B. S. G. . The same genra, different genra, due to the different growth environment, plant body leaves will show different morphological characteristics. This indicates that the characters of microstructure of these 10 species are closely connected with the environment. The results of this article could provide some information for classification of Brachytheciaceae of No. 1 Glacier of Tianshan Mountains.

Key words: No. 1 glacier; Brachytheciaceae; Microstructuref; SEM